

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

DETEKCE PŘERUŠENÍ PAPILÁRNÍCH LINIÍ OTISKU PRSTU A JEJICH REKONSTRUKCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ CEJPEK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ



FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

DETEKCE PŘERUŠENÍ PAPILÁRNÍCH LINIÍ OTISKU PRSTU A JEJICH REKONSTRUKCE

DETECTION OF INTERRUPTED FRICTION RIDGES OF A FINGERPRINT AND THEIR
RECONSTRUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ CEJPEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAROSLAV STRUŽKA

BRNO 2011

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou aplikace s grafickým uživatelským rozhraním pro úpravu papilárních linií otisku prstu, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu. Navržený algoritmus pro úpravu papilárních linií využívá Gaborův filtr a je implementován v jazyce C++ s využitím knihovny pro práci s obrazem OpenCV a aplikace Qt pro tvorbu grafického uživatelského rozhraní. Práce se dále zabývá testováním a zhodnocením výsledků testování navrženého algoritmu pro úpravu papilárních linií otisku prstu.

Klíčová slova

otisky prstů, suchý otisk prstu, papilární linie, markanty, Gaborův filtr, Qt, C++, OpenCV

Abstract

This Bachelor thesis describes creating application with graphical user interface for editing a fingerprint ridges. They are interrupted due to dry fingerprint. The proposed algorithm uses Gabor filter for editing fingerprint ridges. He is implemented in C++ and uses a library aimed at work with images OpenCV and Qt application for creating graphical user interface. The thesis is also about testing and evaluating the results of a proposed algorithm for editing fingerprint ridges.

Keywords

fingerprints, dry fingerprint, ridge, minutiae, Gabor filter, Qt, C++, OpenCV

Citace

Cejpek, Tomáš: Detekce přerušení papilárních linií otisku prstu a jejich rekonstrukce, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2011

Detekce přerušení papilárních linií otisku prstu a jejich rekonstrukce

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Stružky. Další informace mi poskytl Ing. Ondřej Dluhoš. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Tomáš Cejpek
18. 5. 2011

© Tomáš Cejpek, 2011.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	2
2	Otisky prstů	3
2.1	Historie	3
2.2	Papilární linie	4
2.3	Klasifikace otisků prstů	5
2.4	Markanty	7
2.5	Problém suchého otisku prstu	7
3	Návrh algoritmu	9
3.1	Normalizace obrazu	9
3.2	Orientace papilárních linií	11
3.3	Frekvence papilárních linií	13
3.4	Gaborův filtr	15
4	Implementace	17
4.1	Použitý software	17
4.2	Výsledná aplikace	18
5	Testování	19
5.1	Popis testování	19
5.2	Časová náročnost navrženého algoritmu	19
5.3	Časová náročnost jednotlivých částí navrženého algoritmu	20
5.4	Výsledky testování navrženého algoritmu	21
5.5	Přerušení papilárních linií, která úpravou byla odstraněna	24
5.6	Přerušení papilárních linií, která úpravou nebyla odstraněna	24
6	Závěr	26
6.1	Budoucnost projektu	26

1 Úvod

Zkoumání biometrických vlastností člověka budí zájem vědců už několik stovek let. Průkopníci v tomto oboru pracovali z dnešního pohledu v primitivních podmínkách, ale jejich poznatky a teorie jsou i po dlouhé době základem pro dnešní výzkum. S postupným vývojem elektronických zařízení bylo možné potvrzovat staré teorie, zrychlit a zpřesnit další výzkum, pustit se do zkoumání biometrických vlastností člověka, o kterých se již zmíněným průkopníkům ani nesnilo.

Nejdříve objevenou a nejvíce používanou biometrickou vlastností je otisk prstu. Tento jedinečný obrazec identifikující každého člověka je využíván k identifikaci osob nejen v kriminalistice, ale například jako bezpečnostní opatření při vstupu do domu, bytu, firmy, nebo v poslední době velmi rozšířené zabezpečení počítače.

Se snímáním otisků prstů souvisí různé problémy, které mohou být způsobeny například suchou pokožkou. To má za následek nekvalitní otisk prstu, který je třeba dále upravit.

Tato bakalářská se zabývá využitím Gaborova filtru pro úpravu papilárních linií otisku prstu, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu. Algoritmus je implementován jako aplikace s grafickým uživatelským rozhraním.

Kapitola 2 pojednává postupně o historii zkoumání otisků prstů, kde je čtenář seznámen s významnými osobnostmi, které se touto problematikou zabývaly, vzniku a vlastnostech papilárních linií otisku prstu, markantách - charakteristických vlastnostech papilárních linií, klasifikaci otisků prstu a v poslední části jsou popsány problémy, které jsou způsobeny sejmutím suchého prstu.

Kapitola 3 se zabývá návrhem algoritmu pro úpravu papilárních linií otisku prstu, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu. Nejdůležitější částí algoritmu je Gaborův filtr. V kapitole 3 jsou dále popsány dílčí výpočty pro použití Gaborova filtru, tj. výpočet orientace a frekvence papilárních linií.

Kapitola 4 je věnována implementaci navrženého algoritmu, použitému softwaru a vzhledu výsledné aplikace.

Kapitola 5 je zaměřena na testování navrženého algoritmu. Postupně je popsán způsob testování, časová náročnost jednotlivých částí algoritmu a algoritmu jako celku, výsledky testování, kde jsou ukázky upravených suchých otisků prstů. Poslední dvě části obsahují popis přerušování papilárních linií, které se po aplikaci navrženého algoritmu podařilo a nepodařilo odstranit.

2 Otisky prstů

Než jsem mohl přistoupit k samotnému návrhu algoritmu pro úpravu papilárních linií, bylo třeba seznámit se s literaturou zabývající se otisky prstů. Obsahem této kapitoly je stručný popis historie zkoumání otisků prstů a významných osobností spojených s touto problematikou. Další části kapitoly se věnují vzniku a vlastnostem papilárních linií, klasifikaci otisků prstů, markantům a problémům při zkoumání suchých otisků prstů.

2.1 Historie

Zřejmě nejstarší důkaz o znalosti papilárních linií byl v roce 1913 objeven na území dnešního státu Indiana ve Spojených státech amerických, které obývali indiánské kmeny. Jednalo se o několik tisíc let staré ryté obrazy na kamenech, tzv. "petroglyfy". Znázorňovaly ruku s vyznačenými papilárními liniemi, ale účel těchto obrazů nebyl spolehlivě zjištěn.

Jedním z národů, který využíval otisky prstů za účelem identifikace lidí, byli Asyřané. Na dochovaných úlomcích hliněných tabulek z devátého století před naším letopočtem byly kromě různých textů nalezeny i otisky prstů. Ty byly zpravidla umístěny vedle jména autora, který se tím pravděpodobně snažil zabránit padělání tabulky. Podobné využití otisků prstů bylo nalezeno i na keramice v Egyptě, Řecku a Římě.

Nejstarší spis popisující otisky prstů jako prostředek pro identifikaci osob napsal čínský autor Kio Kung-yen v sedmém století našeho letopočtu. Podle něj se otisky prstů využívaly pro obchodní účely. Starý čínský zákoník nařizoval připojit otisk prstu na listinu, ve které manžel uvádí důvody k rozvodu. Dalším zajímavé využití našly otisky prstů v Číně v šestnáctém století. Při obchodování s dětmi bylo nutné otisknout ruce a nohy dítěte na kupní smlouvu, aby mohl být obchod řádně uzavřen.

V roce 1686 bylo zaznamenáno první vědecké pozorování otisků prstů. Marcell Malpighi, boloňský profesor anatomie, studoval otisky pod mikroskopem a jako první popsal spirálu a smyčku (více v kapitole 2.3).

Thomas Bewick (1753 - 1828) patří k prvním lidem, kteří rozpoznali jedinečnost otisku prstu. Používal ho ve spojení se jménem jako podpis ve svých publikacích.

Za průkopníka daktyloskopie, vědy studující papilární linie, která se využívá pro identifikaci osob, je považován český přírodovědec Jan Evangelista Purkyně (1787 - 1869), který v roce 1823 publikoval 54stránkový spis psaný latinsky "Commentatio de examine physiologico organi visus et systematis cutanei" (Rozprava o fyziologickém výzkumu orgánu zrakového a soustavy kožní), kde poprvé popsal základní tvary papilárních linií a klasifikoval je do 9 vzorů (oblouk, klenutý oblouk, dva druhy smyčky, čtyři druhy spirály a dvojité smyčka jsou znázorněny na obrázku 2.1.1) a mimo jiné popsal tzv. deltu, obrazec, který tvoří papilární linie.

V roce 1886 vznikly dvě hypotézy: papilární linie se během života nemění a žádní dva lidé nemají shodné otisky prstů. Autorem obou hypotéz byl Joseph T. James z Miamské univerzity, ale ani pro jednu hypotézu neměl vědecký důkaz.

Dalším významným vědcem zabývajícím se otisky prstů byl Francis Galton (1822 - 1911). Roku 1888 vydal práci, ve které potvrdil hypotézy Josepha T. Jamese. Navíc zjistil, že pravděpodobnost výskytu dvou lidí se shodným obrazcem papilárních linií je 1:64 000 000 000. Tím položil teoreticko – vědecké základy daktyloskopie.



Obrázek 2.1.1: Klasifikace otisků prstu podle Jana Evangelisty Purkyně.

O první praktické využití identifikace podle otisků prstů se zasloužil William James Herschel (1833 - 1917). Jako úředník měl v Indii na starosti vyplácení důchodů indickým vojákům. Vojáků bylo velké množství, neměli žádné doklady, a proto se domníval, že vyplácí důchody i vojákům, kteří již zemřeli. Zavedl proto nový systém vyplácení důchodů, kdy každý voják potvrdil příjem peněz otiskem prstu, čímž zabránil dalším podvodům.

Dr. Henry Faulds (1843 - 1930) se do historie zapsal myšlenkou, že otisky prstů, odebrané na místě činu, mohou pomoci k identifikaci pachatele, což publikoval v roce 1888. Díky tomu se začala postupně v mnoha zemích zavádět identifikace podle otisků prstů v kriminalistice.

V průběhu 20. století se otisky prstů staly významným pomocníkem při identifikaci osob. I přes nástup dalších technologií rozpoznávání, například DNA nebo podle oční duhovky, si otisky prstů udrželi pozici nejpoužívanější metody při identifikaci nebo ověření identity osob.

2.2 Papilární linie

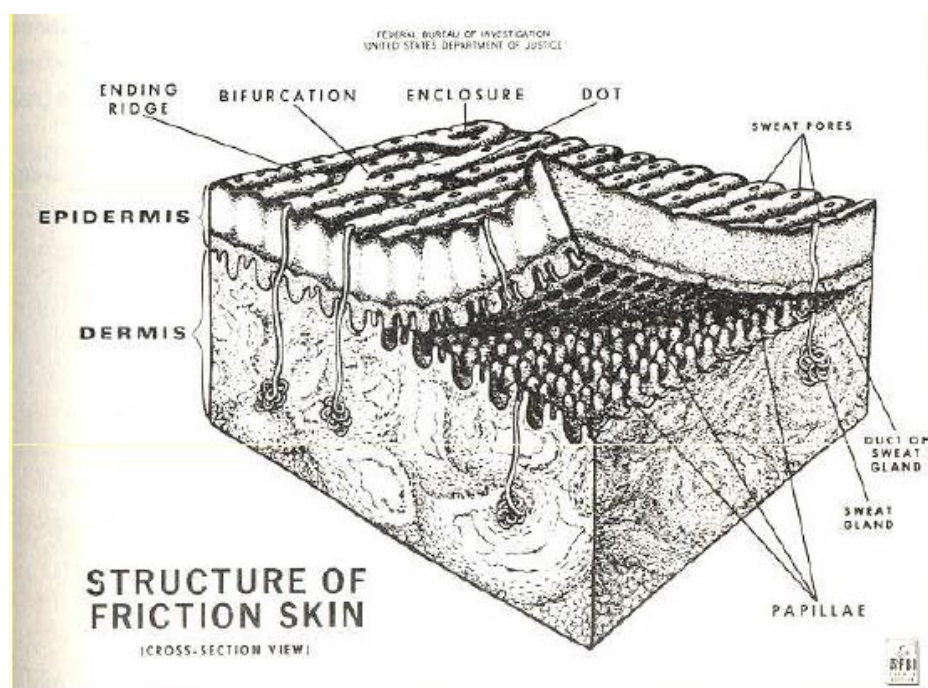
Otisk prstu je grafickou reprezentací papilárních linií. Na vnitřní straně všech prstů, na obou dlaních a na prstech u nohou můžeme vidět obrazce, které jsou tvořeny papilárními liniemi. Na jiných částech těla je nenajdeme. S výjimkou některých druhů opic se u jiných zvířat nevyvinuly, což vede k tomu, že nalezené otisky prstů můžeme jednoznačně přiřadit člověku. Papilární linie se formují během čtvrtého měsíce embryonálního vývoje. Na kůži tvoří mírné vyvýšeniny vysoké 0,1 - 0,4 mm a široké 0,2 - 0,5 mm. Tyto vyvýšeniny jsou hřebeny a v otisku prstu jsou reprezentovány tmavými čarami. Prostor mezi hřebeny jsou údolí a v otisku jsou bílá.

Vzor, který tvoří papilární linie, je unikátní pro každého člověka na celém světě. Ani jednovaječná dvojčata nemají stejné otisky prstů, na rozdíl od DNA, kterou mají stejnou.

Papilární linie zůstávají relativně neměnné v průběhu celého života. Během růstu člověka, kdy logicky rostou i prsty, si papilární linie udržují stejný tvar. Informace o tvaru linií jsou uloženy v zárodečné vrstvě kůže. Díky tomu se tvar papilárních linií v případě drobných poranění (odřeniny, spáleniny) znovu obnovuje. Trvalá změna může nastat pouze v případě hlubokých poranění, při kterých dojde k poškození zárodečné vrstvy kůže. Taková jizva je na druhou stranu dalším unikátním prvkem otisku prstu.

Z předchozích vlastností lze odvodit tři zákonitosti otisků prstů: individuálnost, neměnnost a neodstranitelnost, které stanovil na konci 19. století Francis Galton.

Na obrázku 2.2.1 je vidět průběh papilárních linií a řez kůže prstu.



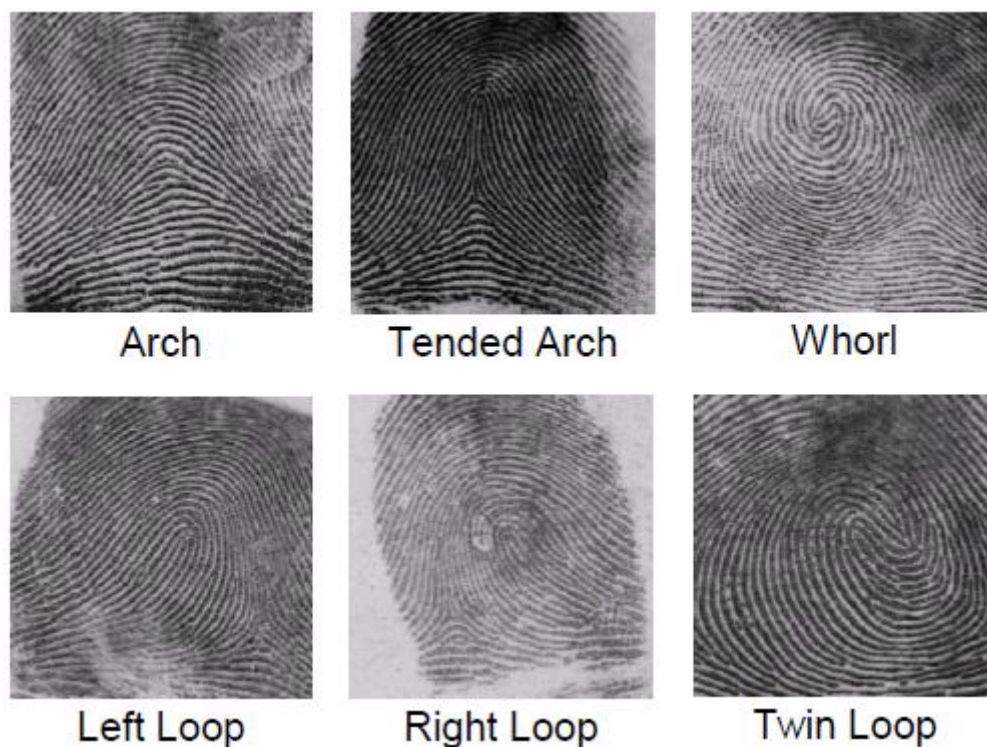
Obrázek 2.2.1: Řez kůží prstu

2.3 Klasifikace otisků prstů

Identifikace osob vyžaduje porovnávání konkrétního otisku prstu s velkým množstvím otisků prstů, kde se hledá odpovídající otisk z databáze otisků. Toto porovnávání je výpočetně velice náročné a souvisí hlavně s velikostí prohledávané databáze. K rychlejšímu porovnávání slouží klasifikace otisků prstů. Databáze otisků je rozdělena do tříd podle vzoru, který utváří papilární linie. Klasifikací rozumíme přiřazení otisku prstu do konkrétní třídy. Porovnávání otisků se potom provádí pouze v podmnožině databáze, která odpovídá příslušné třídě.

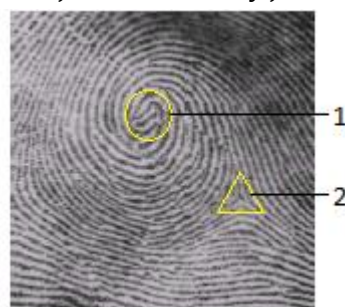
Klasifikační schémata vycházejí z Henryho klasifikace, kterou vytvořil Sir Edward Henry. V dnešní době jsou otisky prstů rozděleny do následujících tříd: oblouk (arch), klenutý

oblouk (tended arch), závit (whorl), levá smyčka (left loop), pravá smyčka (right loop), dvojité smyčka (twin loop). Ukázka rozdělení do tříd je na obrázku 2.3.1.



Obrázek 2.3.1: Rozdělení otisků prstu do klasifikačních tříd

Na obrázku 2.3.1 je také vidět, že papilární linie tvoří charakteristické obrazce – jádro a deltu. O jádře se dá říct, že je to střed nejsevernější smyčky. Delta odpovídá oblasti, kde se setkávají linie ze tří směrů a tvoří tak trojúhelník. Jednotlivé třídy otisků prstů se od sebe liší počtem a vzájemnou polohou jádra a delty. Typ oblouk nemá jádro ani deltu. Klenutý oblouk již má jádro i deltu ve vzájemné vertikální poloze. Levá a pravá smyčka má deltu posunutou doleva nebo doprava vzhledem k pozici jádra. Závit má dvě delty a jádro. Dvojitá smyčka má dvě jádra a dvě delty. Na obrázku 2.3.2 jsou znázorněny jádro a delta v otisku prstu.



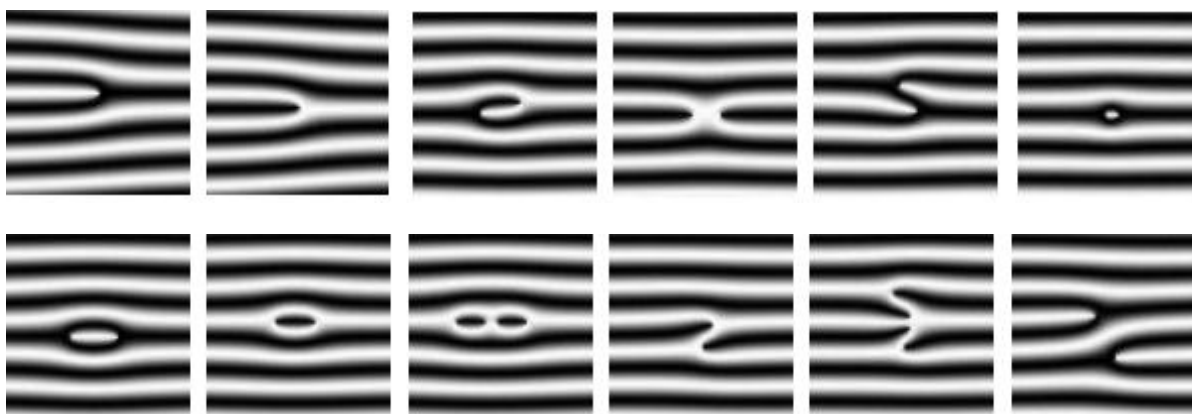
Obrázek 2.3.2: Jádro (1) a delta (2) v otisku prstu

2.4 Markanty

Pro klasifikaci otisků prstů se využívá obrazců, které jsou tvořeny skupinami papilárních linií. Ale při detailnějším pohledu na jednotlivé papilární linie jsou vidět různá přerušení nebo rozdvojení, která tvoří tzv. markanty. Markant je tedy jakákoli změna v průběhu papilární linie, kterou se liší od ostatních. Markanty lze rozdělit na velké množství typů, některé z nich jsou znázorněny v obrázku 2.4.1.

Všechny typy markantů lze popsat pomocí dvou základních typů – ukončení a vidlička (rozdvojení). Z toho plyne zásadní výhoda. Detekce těchto dvou nejjednodušších markantů není výpočetně tak náročná jako detekce složitějších typů.

Markanty se využívají při identifikaci osob, protože množství, umístění a kombinace typů je jedinečná pro každého člověka.



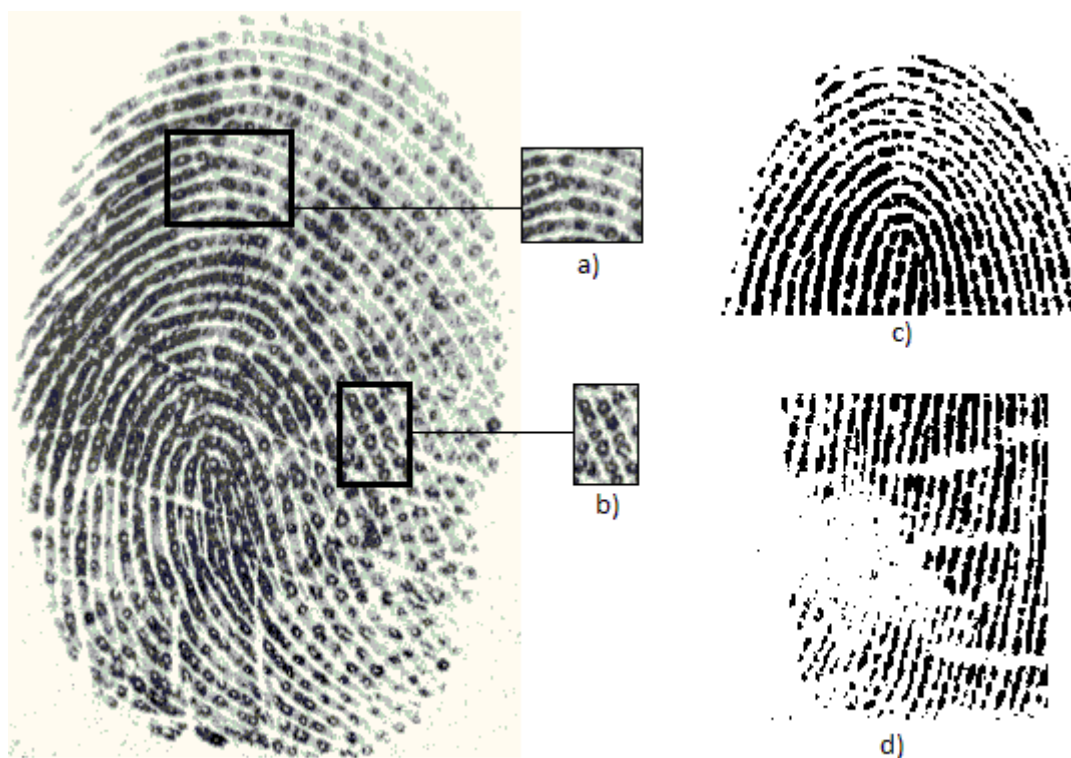
Obrázek 2.4.1: Typy markantů: horní řada zleva - vidlička, ukončení, hák, křížení, boční kontakt, bod; dolní řada zleva – interval, jednoduchá smyčka, dvojitá smyčka, jednoduchý most, dvojitý most, průsečná linie

2.5 Problém suchého otisku prstu

Problém suchého otisku prstu souvisí se suchou pokožkou prstu. Při snímání prstu se pot postupem času rozlévá podél papilárních linií do původně suchých oblastí a díky tomu jsou papilární linie výraznější a celý otisk tmavne. Výsledkem je otisk s výraznými papilárními liniemi bez žádných přerušení. Tento scénář lze očekávat v případě normální situace, kdy se pot rozlévá rovnoměrně po celém prstu a je ho optimální množství. Může ale nastat situace, kdy člověk, kterému je snímán prst, produkuje menší množství potu, než by bylo potřeba. V tomto okamžiku se pot nebude rozlévat rovnoměrně. Do některých částí se nemusí dostat vůbec. Ve výsledném otisku prstu se mohou projevit následující vlastnosti:

- Papilární linie nejsou stejně výrazné v celém otisku (Obrázek 2.5.1 a) - střídá se světlejší a tmavší odstíny).
- Pot, který vytéká z póru, vytváří oblasti, kde se kolem bílé tečky (póru) vytvoří kolečko tmavší, než je zbytek papilární linie. Je to způsobeno tím, že se pot rozlije jen v těsné blízkosti póru (Obrázek 2.5.1 b)).
- Tloušťka papilární linie není stejná po celé její délce (Obrázek 2.5.1 c)d))

- Papilární linie jsou místy přerušené (Obrázek 2.5.1 c)). Velikost přerušení je různá. Může být jen jeden pixel, ale také i daleko víc.
- Extrémní případ předchozího bodu může dojít tak daleko, že část otisku prstu v podstatě úplně chybí (Obrázek 2.5.1 d))



Obrázek 2.5.1: Suché otisky prstů

Způsobů jak řešit problém suchých otisků prstu je několik. Jedna z možností je navlhčit prst před snímáním, díky čemuž bude jeho sejmutý otisk kvalitnější. Další možností je využití elektroluminiscenčního snímače, u kterého se kvalita suchého otisku prstu nesnižuje[2].

Tato práce se však věnuje jinému způsobu řešení problému suchých otisků prstů. Tím je úprava papilárních linií již sejmutého otisku prstu. Algoritmus pro úpravu je popsán v kapitole 3.

3 Návrh algoritmu

V kapitole 2.5 jsou popsány problémy, které mohou nastat u suchých otisků prstů. Cílem této práce je navrhnout algoritmus, který bude schopen upravit papilární linie nekvalitních suchých otisků prstů. Pro úpravu papilárních linií je použit Gaborův filtr.

V této kapitole je popsán jeden z možných postupů pro úpravu papilárních linií, které jsou přerušeny vlivem otisku suchého prstu.

V následujících podkapitolách jsou popsány jednotlivé části navrženého algoritmu. Nejprve úprava obrazu v kapitole 3.1. Dále v kapitolách 3.2 a 3.3 určení orientace papilárních linií a výpočet frekvence papilárních linií, které jsou nezbytnou součástí Gaborova filtru. V poslední části 3.4 je popsán algoritmus Gaborova filtru.

3.1 Normalizace obrazu

Nejprve je třeba provést úpravu obrazu, která nám umožní dosáhnout přesnějších výsledků v dalších fázích úpravy papilárních linií. Pro úpravu obrazu je nutné vypočítat průměrnou hodnotu stupně šedi a rozptyl hodnot v obraze.

Průměrná hodnota se spočítá podle rovnice 3.1, jako součet hodnot bodů v obraze vydělený počtem bodů v obraze.

$$mean(I) = \frac{\sum_{x=0}^{w-1} \sum_{y=0}^{h-1} I(x, y)}{w \times h} \quad \text{if}(I(x, y) < 255) \quad (3.1)$$

Kde:

$mean(I)$ - průměrná hodnota stupně šedi v obraze I

I - obraz, pro který počítám průměrnou hodnotu

x, y - souřadnice bodu v rámci obrazu

w - šířka obrazu

h - výška obrazu

Rozptyl hodnot stupně šedi v obraze se spočítá podle rovnice 3.2.

$$var(I) = \frac{1}{w \times h} \sum_{x=0}^{w-1} \sum_{y=0}^{h-1} [I(x, y) - mean(I)]^2 \quad (3.2)$$

Kde:

$var(I)$ - rozptyl hodnot

I - obraz, pro který počítám rozptyl

x, y - souřadnice bodu v rámci obrazu

w - šířka obrazu

h - výška obrazu

mean(I) - průměrná hodnota stupně šedi v obraze I

Dalším krokem je samotná úprava obrazu podle vzorce 3.3[3]. Úprava obrazu má smysl pouze v případě, že se v obraze vyskytují různé stupně šedi. V případě, že je celý otisk prstu ve stejném stupni šedi, tzn. rozptyl hodnot je roven nule, úprava obrazu se neprovádí. Tato úprava žádným způsobem nemění strukturu papilárních linií. Výsledek normalizace obrazu je znázorněn na obrázku 3.1.1.

$$N(x, y) = mean0 + \sqrt{\frac{var0 \times (I(x, y) - mean(I))^2}{var}} \quad \text{if } (I(x, y) > mean(I))$$
$$N(x, y) = mean0 - \sqrt{\frac{var0 \times (I(x, y) - mean(I))^2}{var}} \quad \text{jinak} \quad (3.3)$$

Kde:

N - obraz po úpravě

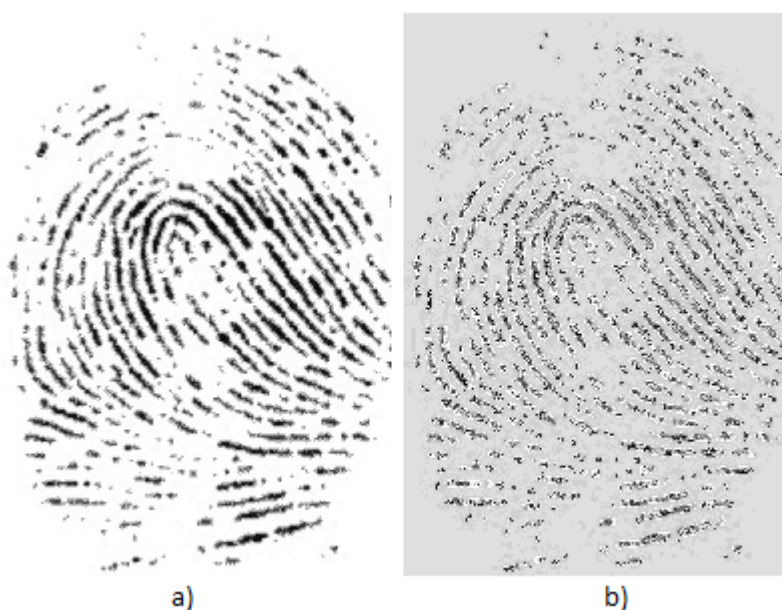
I - upravovaný obraz

mean0 - požadovaná průměrná hodnota pixelů obrazu

var0 - požadovaný rozptyl hodnot pixelů obrazu

mean(I) - průměrná hodnota pixelů obrazu I

var(I) - rozptyl hodnot pixelů obrazu I

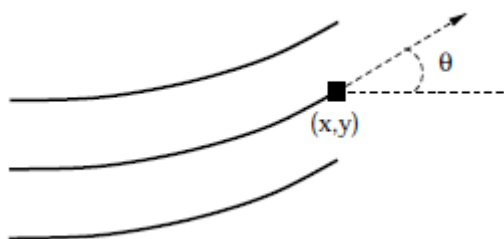


Obrázek 3.1.1: Normalizace obrazu. a) původní obraz b) normalizovaný obraz s hodnotami mean0 a var0 nastavenými na hodnotu 100

3.2 Orientace papilárních linií

Důležitou součástí návrhu Gaborova filtru je orientace papilární linie v každém bodě (x, y) . Orientace je úhel, který papilární linie svírá s horizontální osou obrazu (Obrázek 3.2.1). Pro naše potřeby stačí úhel v intervalu 0° až 180° . Důvod je velice jednoduchý. Jak úhel 0° , tak úhel 180° je rovnoběžný s horizontální osou a svírají úhel, jehož ramena jsou opačné polopřímky. Ve výsledku proto budou oba úhly 0° . Obdobně to platí pro všechny ostatní dvojice úhlů, např. 90° a 270° bude 90° nebo 30° a 210° bude 30° .

Orientaci papilárních linií lze získat pomocí detekce hran v obraze. Hrany jsou takové pixely v obraze, u kterých se výrazně mění hodnota stupně šedi. Pro výpočet gradientu obrazu, který je potřeba pro výpočet orientace, jsou použity konvoluční masky 3.4 a 3.5[4].



Obrázek 3.2.1: Orientace papilárních linií

Jednotlivé kroky při výpočtu pole orientací papilárních linií:

1. Rozdělení normalizovaného obrazu N na bloky o velikosti 15×15 pixelů.
2. Výpočet gradientu $dx(x, y)$ a $dy(x, y)$ konvolucí mezi normalizovaným obrazem a konvoluční maskou 3.4 a konvolucí mezi normalizovaným obrazem a konvoluční maskou 3.5. Tyto dvě operace se provádí pro každý pixel obrazu N . Jádro konvoluční masky určuje, které pixely z okolí se pro výpočet gradientu použijí a jakou budou mít váhu.

$$dx = \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (3.4)$$

$$dy = \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \quad (3.5)$$

3. Výpočet orientace papilárních linií v každém bodě obrazu podle následujících operací 3.6, 3.7 a 3.8. Obraz je rozdělen na bloky (krok 1). Orientace v bodě (x, y) , který se vždy nachází uprostřed bloku, se spočítá s ohledem na gradienty (krok 2) všech bodů v bloku. Na obrázku 3.2.2 je znázorněna výsledná orientace papilárních linií.

$$nx(x, y) = \sum_{u=x-\frac{BS}{2}}^{x+\frac{BS}{2}} \sum_{v=y-\frac{BS}{2}}^{y+\frac{BS}{2}} 2 \times dx(u, v) \times dy(u, v) \quad (3.6)$$

$$ny(x, y) = \sum_{u=x-\frac{BS}{2}}^{x+\frac{BS}{2}} \sum_{v=y-\frac{BS}{2}}^{y+\frac{BS}{2}} dx(u, v)^2 \times dy(u, v)^2 \quad (3.7)$$

$$O(x, y) = \frac{1}{2} \times \tan^{-1} \left(\frac{nx(x, y)}{ny(x, y)} \right) \quad (3.8)$$

Kde:

dx, dy - gradienty

x, y - souřadnice bodu v rámci obrazu

u, v - souřadnice v poli gradientů

BS - velikost bloku

O - pole orientací papilárních linií



Obrázek 3.2.2: Orientace papilárních linií. a) otisk prstu, b) orientace papilárních linií, c) orientace mapované na otisk prstu

3.3 Frekvence papilárních linií

Po výpočtu orientace papilárních linií je nutné připravit další nezbytnou část pro návrh Gaborova filtru. Tou je frekvence hřebenů papilárních linií otisku prstu. Pro výpočet frekvence se využívá úhel kolmý k úhlu orientace papilárních linií.

V následujících bodech je popsán postup výpočtu frekvence.

1. Rozdělení normalizovaného obrazu N na bloky o velikosti $w \times l$ pixelů. V tomto konkrétním případě bude velikost bloku 32×16 pixelů.
2. Pro každý blok, který má ve svém středu pixel (x, y) , se spočítá pole hodnot $X[0], X[1], X[2], \dots, X[l-1]$ podle následujících operací[5]:

$$X[k] = \frac{1}{w} \times \sum_{d=0}^{w-1} N(u, v), k = 0, 1, \dots, l-1 \quad (3.9)$$

$$u = x + (d - \frac{w}{2}) \times \cos O(x, y) + (k - \frac{1}{2}) \times \sin O(x, y) \quad (3.10)$$

$$v = y + (d - \frac{w}{2}) \times \sin O(x, y) - (k - \frac{1}{2}) \times \cos O(x, y) \quad (3.11)$$

Kde:

N - normalizovaný obraz

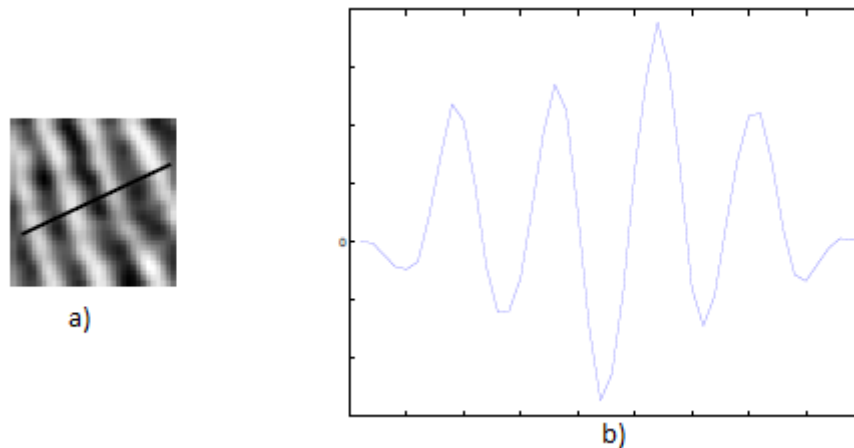
O - pole orientací

w - šířka bloku

l - výška bloku

d, k - souřadnice bodu v rámci bloku

x, y - souřadnice bodu v rámci obrazu



Obrázek 3.3.1: Projekce intenzity hodnot pixelů na přímce kolmé k úhlu orientace. a) část otisku prstu s vyznačenou přímkou kolmou k úhlu orientace, b) projekce sinusové vlny odpovídající hodnotám podél přímky v a)

Pole hodnot $X[0], X[1], X[2], \dots, X[l-1]$, kde l je šířka bloku, vytváří vlnu sinusového tvaru, stejně jako ji vytváří střídání hřebenů a údolí papilárních linií v tisku prstu (obrázek 3.3.1). Frekvence vrcholů v poli X je stejná jako frekvence hřebenů papilárních linií v bloku. Proto lze z pole hodnot X určit požadovanou frekvenci papilárních linií.

3. Zjistit vrcholy sinusové vlny. Proto je třeba hledat takové prvky pole X , jejichž levý sousední prvek má nižší hodnotu a pravý sousední prvek nemá vyšší hodnotu. Pro další výpočet bude potřeba počet a pozice vrcholů v poli příznaků X .
4. Výpočet průměrného počtu pixelů mezi dvěma po sobě jdoucími vrcholy v poli příznaků X . Pro výpočet se využijí výsledky získané v předchozím kroku.
5. Necht' $T(x, y)$ je průměrný počet pixelů mezi dvěma po sobě jdoucími vrcholy v poli příznaků. Potom se frekvence spočítá jako:

$$f(x, y) = \frac{1}{T(x, y)} \quad (3.12)$$

Kde:

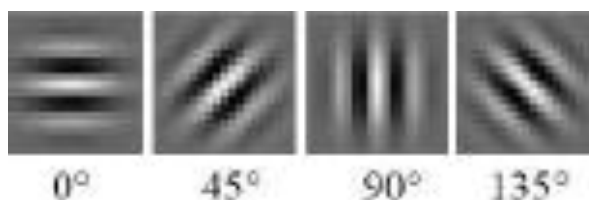
$f(x, y)$ - frekvence v bodě (x, y)

$T(x, y)$ - průměrný počet pixelů mezi dvěma po sobě jdoucími vrcholy

3.4 Gaborův filtr

Gaborův filtr představil držitel Nobelovy ceny za fyziku Dennis Gabor. Má široké využití v oblasti zpracování obrazu, například při detekci hran nebo vytažení výrazných charakteristik, což je vlastnost vhodná pro úpravu papilárních linií otisku prstu.

Pro úpravu papilárních linií, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu lze využít dvourozměrný Gaborův filtr. Pro návrh Gaborova filtru je třeba znát orientaci a frekvenci papilárních linií, postup výpočtu těchto parametrů je popsán v přechozích kapitolách. Dvourozměrný Gaborův filtr sestává ze sinusoidní vlny konkrétní orientace a frekvence modulované Gaussiánskou obálkou. Tyto vlastnosti umožňují maximální reakci na hřebeny papilárních linií konkrétní orientace a frekvence. Správný filtr proto dokáže zachovat strukturu papilárních linií a zároveň snížit šum. Ukázka dvourozměrného Gaborova filtru pro vybrané úhly orientace je znázorněna na obrázku 3.4.1.



Obrázek 3.4.1: Ukázka Gaborových filtrů pro vybrané úhly

Aplikace dvourozměrného Gaborova filtru proběhne podle následujících operací[6]:

1. Rozdělení normalizovaného obrazu na bloky 11x11 pixelů.
2. Výpočet hodnoty Gaborova filtru podle rovnic 3.14 a pomocných výpočtů 3.12 a 3.13

$$u1 = u \times \cos(o) + v \times \sin(o) \quad (3.12)$$

$$v1 = -u \times \sin(o) + v \times \cos(o) \quad (3.13)$$

$$h(u, v; o, f) = \exp \left[-\frac{1}{2} \times \left(\frac{u1^2}{\delta_x^2} + \frac{v1^2}{\delta_y^2} \right) \right] \times \cos(2 \times \pi \times u1 \times f) \quad (3.14)$$

Kde:

u, v - souřadnice bodu v rámci Gaborova filtru

o - orientace v bodě

f - frekvence v bodě

δ_x, δ_y - směrodatné odchylky Gaussiánské obálky vzhledem k ose x a ose y [7]

Hodnoty odchylek Gausiánské obálky δ_x a δ_y jsou stanoveny na 4.0 podle [3]. Vyšší hodnoty odchylek by způsobily větší odolnost vůči šumu, ale zároveň by byly informace o hřebenech papilárních linií více vyhlazovány, čímž by mohlo dojít ke ztrátě struktury papilárních linií. Menší hodnoty odchylek by způsobily opačný problém, tudíž by Gaborův filtr nebyl schopen efektivně odstranit šum.

3. Každý výsledný pixel obrazu se získá konvolucí Gaborova filtru s normalizovaným obrazem. Pro výpočet pixelu (x, y) je vyžadována odpovídající hodnota orientace $O(x, y)$ a frekvence $F(x, y)$:

$$G(x, y) = \sum_{u=-\frac{FS}{2}}^{\frac{FS}{2}} \sum_{v=-\frac{FS}{2}}^{\frac{FS}{2}} h(u, v; O(x, y), F(x, y)) \times N(x - u, y - v) \quad (3.15)$$

- G - výsledný obraz s upravenými papilárními liniemi
- FS - velikost Gaborova filtru v pixelech
- u, v - souřadnice bodu v rámci Gaborova filtru
- x, y - souřadnice bodu v rámci obrazu
- O - pole orientací
- F - pole frekvencí
- $h(u, v; O(x, y), F(x, y))$ - funkce pro výpočet hodnoty Gaborova filtru podle vzorce 3.14.
- N - normalizovaný obraz



Obrázek 3.4.2: Papilární linie upravené pomocí Gaborova Filtru

4 Implementace

Po návrhu algoritmu pro úpravu papilárních linií, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu, je potřeba vytvořit aplikaci s grafickým uživatelským rozhraním, která bude implementovat algoritmus, navržený v kapitole 3. Aplikace bude pracovat s obrázky, proto je potřeba využít některou z knihoven pro práci s obrazem.

Algoritmus lze implementovat v podstatě v jakémkoli programovacím jazyce. Vzhledem k použitým nástrojům pro práci s obrazem a tvorbu grafického uživatelského rozhraní, které jsou stručně popsány v následující kapitole 4.1, je algoritmus implementován v jazyce C++ [8].

4.1 Použitý software

Pro práci s obrazem je v aplikaci využita knihovna OpenCV a pro vytvoření uživatelského rozhraní nástroj Qt.

4.1.1 OpenCV

OpenCV[9], neboli Open Source Computer Vision, je svobodná multiplatformní knihovna pro práci s obrazem a videm. Je možné ji využít z prostředí jazyků C, C++ nebo Python. Je vyvíjena pod BSD licencí.

Vývoj knihovny začal v roce 1999 ve firmě Intel pro podporu procesorově vysoce náročných aplikací. První alpha verze byla uvolněna v roce 2001. Do roku 2005 ji následovalo pět betaverzí, aby v roce 2006 vyšla OpenCV verze 1.0. V polovině roku 2008 získala podporu od výzkumné laboratoře Willow Garage, která pokračuje ve vývoji knihovny. V roce 2009 byla vydána verze OpenCV 2.0, jejíž součástí byly významné změny v rozhraní pro C++, nové funkce a optimalizace starých funkcí. Nejnovější verze OpenCV 2.2 vyšla v prosinci 2010.

Z knihovny využívám pouze funkce pro načtení obrazu ze souboru a uložení obrazu do souboru.

4.1.2 Qt

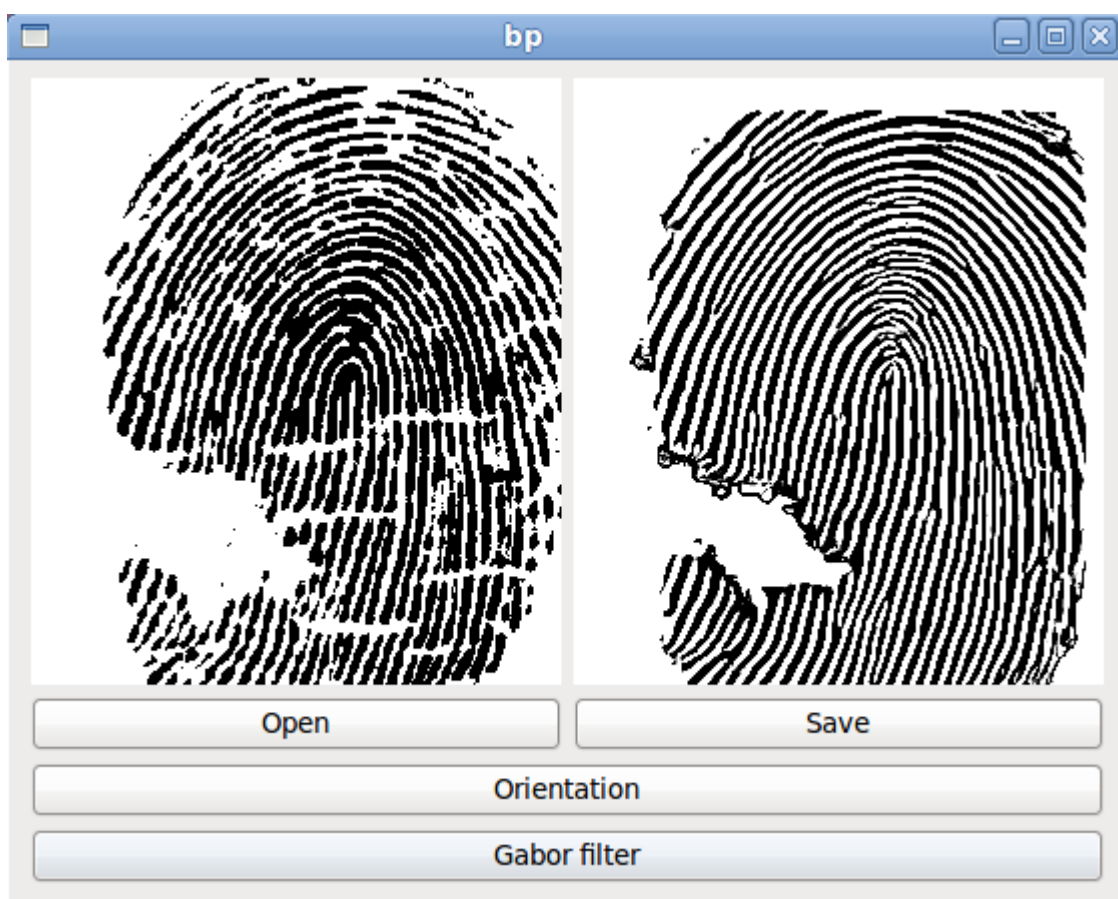
Pro tvorbu uživatelského rozhraní lze opět vybírat z velkého množství aplikací. Vzhledem k použitému programovacímu jazyku C++, je grafické uživatelské rozhraní vytvořeno v Qt.

Qt[10] je jedna z nejpopulárnějších multiplatformních knihoven pro tvorbu konzolových aplikací a aplikací s grafickým uživatelským rozhraním. Qt je vyvíjeno v jazyce C++, ale existuje i pro další jazyky, například C, Perl, Python, Ruby, Pascal, C#, Java. Dále podporuje SQL a zpracování XML. Pracuje na platformách MS Windows, Linux, Mac nebo Symbian. Aplikace napsané v prostředí Qt lze distribuovat pod licencí GPL, LGPL, nebo i komerčně po splnění podmínek.

Qt byl vytvořen v roce 1999 firmou Trolltech, ale v roce 2008 jej převzala firma Nokia, která dodnes zůstává hlavním vývojářem. Aktuální verze Qt 4.7.2 vyšla v březnu 2011.

4.2 Výsledná aplikace

Aplikace implementuje algoritmus navržený v kapitole 2. Vzhled aplikace byl navržen s důrazem na jednoduchost a intuitivní ovládání. Pro ovládání aplikace slouží několik tlačítek. Nejvýše jsou tlačítka „Open“ pro otevření souboru s otiskem prstu a „Save“ pro uložení upraveného obrazu pomocí Gaborova filtru do souboru. Pod těmito tlačítky je tlačítko „Orientation“ pro zobrazení suchého otisku prstu s polem orientací. Poslední tlačítko „Gabor filter“ je pro upravení otisku pomocí navrženého algoritmu. Otisky se zobrazují v horní části aplikace, ve dvou oknech. V levém okně se vždy zobrazuje vstupní suchý otisk prstu. V pravém okně je upravený otisk prstu, nebo otisk prstu s polem orientací. Výsledný vzhled aplikace je znázorněn na obrázku 4.2.1.



Obrázek 4.2.1: Výsledná aplikace

5 Testování

Implementovaný algoritmus pro úpravu papilárních linií, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu, popsany v kapitole 3, je třeba důkladně otestovat. Pro testování algoritmu posloužila sada 798 suchých otisků prstů s různou mírou poškození. Následující části kapitoly se věnují časové náročnosti algoritmu jako celku, časové náročnosti jednotlivých částí navrženého algoritmu, testování a zhodnocení výsledků testování navrženého algoritmu.

Testování proběhlo na počítači s následujícími parametry:

- Procesor - Intel Core 2 Duo T7500, 2,2GHz
- Operační systém - Ubuntu 10.04 32bit

5.1 Popis testování

Cílem tohoto testování je zjistit, jak dokáže navržený algoritmus vylepšit otisky prstů, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu. Vylepšením rozumíme spojení drobných i velkých přerušení papilárních linií, zvýraznění papilárních linií, které mají vlivem suchého prstu různou šířku, nebo odstranění šumu.

Pro testování je připraveno 798 suchých otisků prstů. Po aplikaci algoritmu na všechny testovací obrazy jsem porovnal vstupní a odpovídající výstupní obraz. Každé dvojici obrazů jsem poté přiřadil procentní ohodnocení v rozmezí 0% - 100%, které vyjadřuje, jaká část otisku prstu byla navrženým algoritmem upravena, aniž by papilární linie ztratily svoji původní orientaci a strukturu. Ohodnocení zaznamenám do tabulky, ze které bude moci dojít k vyhodnocení testování.

Dále bylo součástí testování zjištění časové náročnosti navrženého algoritmu a jeho jednotlivých částí.

5.2 Časová náročnost navrženého algoritmu

Důležitým parametrem každého algoritmu je jeho časová náročnost. Pojd'me nyní zjistit, jak je na tom s časovou náročností algoritmus navržený v této práci. Testování časové náročnosti proběhlo na obrázcích otisků prstů dvaceti různých velikostí. Nejmenším obrázek otisku prstu měl rozměry 100x100 pixelů, největším byl obrázek s rozměry 1000x1000 pixelů. V tabulce 5.1 jsou uvedeny naměřené hodnoty časové náročnosti.

Pro nejmenší otisk, který má 10 000 pixelů, trvá provedení navrženého algoritmu 0,72 sekundy. Největší otisk, který je zobrazen na 1 000 000 pixelů, se upravuje 115,76 sekundy.

Z naměřených hodnot vyplývá, že se zvětšujícím se obrazem roste časová náročnost lineárně.

Obraz [kpixel]	Časová náročnost [s]
10	0,72
30	1,63
60	4,45
90	7,15
100	8,34
200	17,00
400	39,68
600	59,77
800	84,19
1000	115,76

Tabulka 5.1: Časová náročnost navrženého algoritmu

5.3 Časová náročnost jednotlivých částí navrženého algoritmu

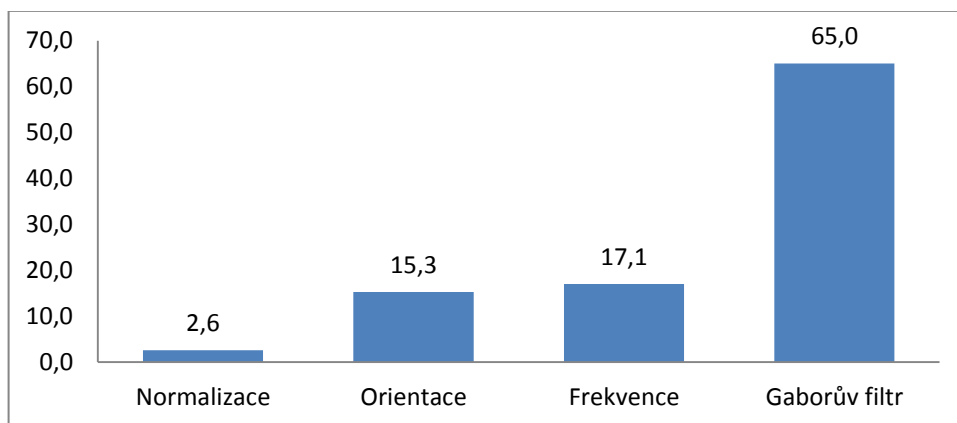
Během testování časové náročnosti algoritmu jako celku jsem testoval i časovou náročnost jednotlivých částí algoritmu. Algoritmus je rozdělen na čtyři samostatné části:

- Normalizace obrazu
- Výpočet orientace papilárních linií otisku prstu
- Výpočet frekvence papilárních linií otisku prstu
- Výpočet Gaborova filtru

Z naměřených hodnot, které jsou zobrazeny v tabulce 5.1 a obrázku 5.3.1, vyplývá, že nejméně náročnou částí je normalizace obrazu, která trvá průměrně 2,6% celkového času. Následuje výpočet orientace a frekvence papilárních linií a časově nejnáročnější částí je výpočet Gaborova filtru, který trvá průměrně 65% celkového času.

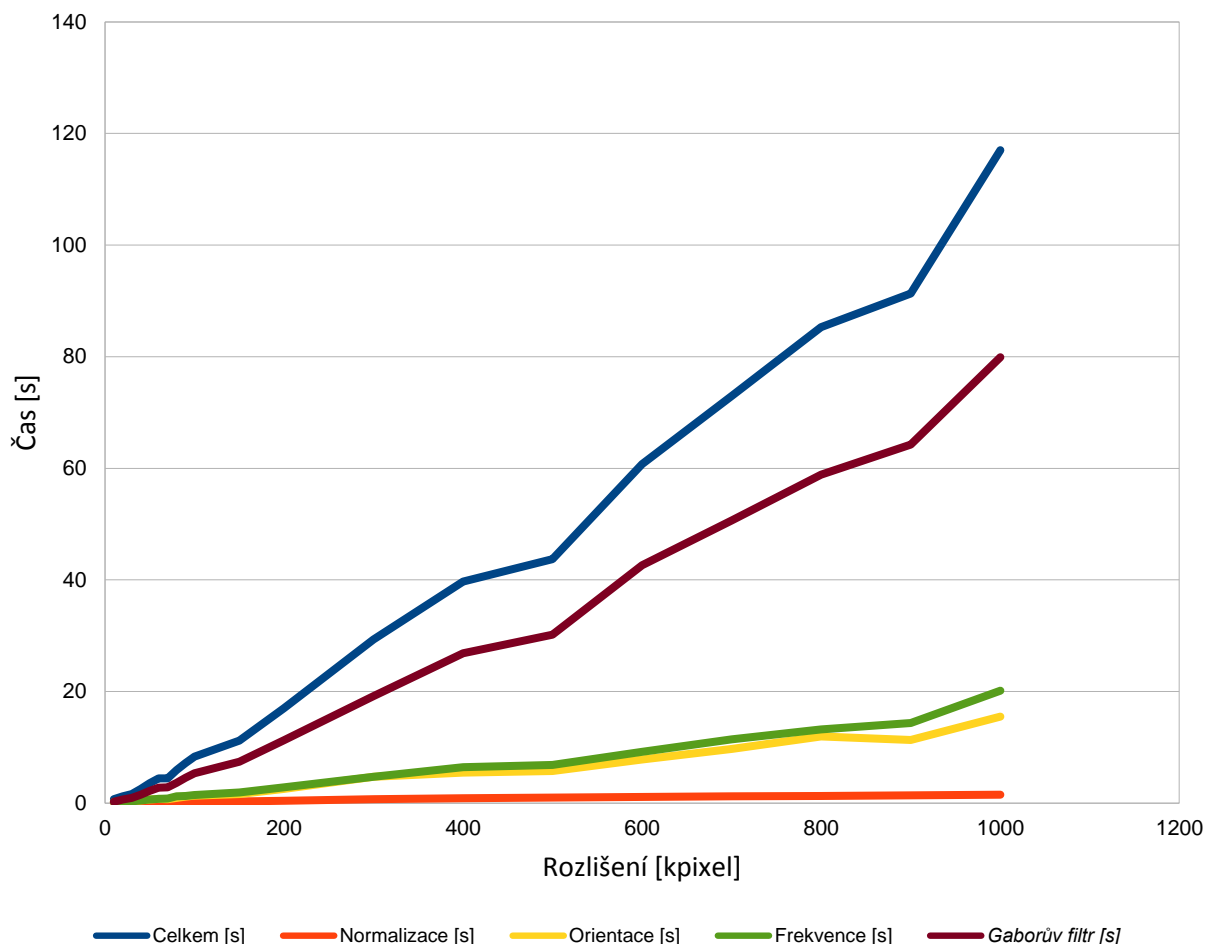
	Podíl na celkovém čase [%]
Normalizace	2,6
Orientace	15,3
Frekvence	17,1
Gaborův filtr	65,0

Tabulka 5.2: Průměrná časová náročnost jednotlivých částí navrženého algoritmu



Obrázek 5.3.1: Podíl jednotlivých částí navrženého algoritmu na celkovém čase v procentech

Na obrázku 5.3.2 je znázorněn graf průběhu časové náročnosti jednotlivých částí navrženého algoritmu, z něhož vyplývá, že časová náročnost všech částí navrženého algoritmu, tzn. normalizace obrazu, výpočtu orientace papilárních linií a výpočtu Gaborova filtru, roste lineárně se zvětšujícím se rozlišením obrazu.



Obrázek 5.3.2: Časová náročnost jednotlivých částí navrženého algoritmu vzhledem k velikosti testovaného obrazu

5.4 Výsledky testování navrženého algoritmu

Každý otisk prstu upravený navrženým algoritmem jsem ohodnotil podle toho, jak velká část otisku byla správně upravena. Za správné upravení suchého otisku prstu lze považovat stav, kdy papilární linie původního suchého otisku prstu neztratily svoji strukturu a orientaci.

Na obrázku 5.4.1 je ukázka upraveného otisku prstu s hodnocením 90% a na obrázku 5.4.2 s hodnocením 70%.



Obrázek 5.4.1: Otisk prstu upravený pomocí navrženého algoritmu. Vlevo – vstupní suchý otisk prstu. Vpravo – upravený otisk prstu s hodnocením 90%.

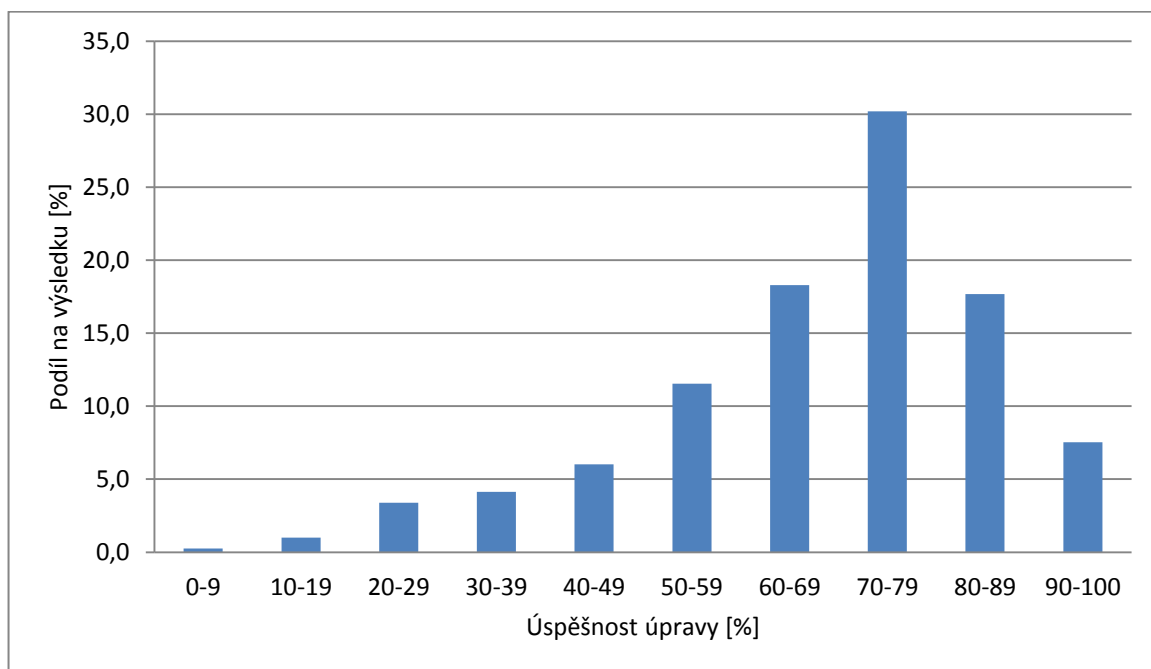


Obrázek 5.4.2: Otisk prstu upravený pomocí navrženého algoritmu. Vlevo – vstupní suchý otisk prstu. Vpravo – upravený otisk prstu s hodnocením 70%.

Výsledky testování jsou zobrazeny v tabulce 5.3 a obrázku 5.4.3, kde je hodnocení pro větší přehlednost rozděleno do deseti skupin (0% - 9%, 10% - 19%, ..., 90% - 100%) podle úspěšnosti úpravy. Po úpravě papilárních linií byla největší část obrázků otisků prstů přiřazena do skupiny 70% - 80%. Konkrétně to bylo 241 ze 798 případů, což je 30,2%. Druhá největší skupina je skupina 60% - 70% s podílem 18,3% a necelé jedno procento menší je skupina 80% - 90%. Za zmínku stojí také skupina 0% - 9%. Toto hodnocení dostaly dva upravené obrázky otisků prstů, kde došlo k téměř naprosté destrukci struktury papilárních linií.

Úspěšnost [%]	Počet [obraz]	Podíl na výsledku [%]
0-9	2	0,3
10-19	8	1,0
20-29	27	3,4
30-39	33	4,1
40-49	48	6,0
50-59	92	11,5
60-69	146	18,3
70-79	241	30,2
80-89	141	17,7
90-100	60	7,5

Tabulka 5.3: Výsledky úspěšnosti úpravy papilárních linií pomocí navrženého algoritmu



Obrázek 5.4.3: Úspěšnost úpravy papilárních linií

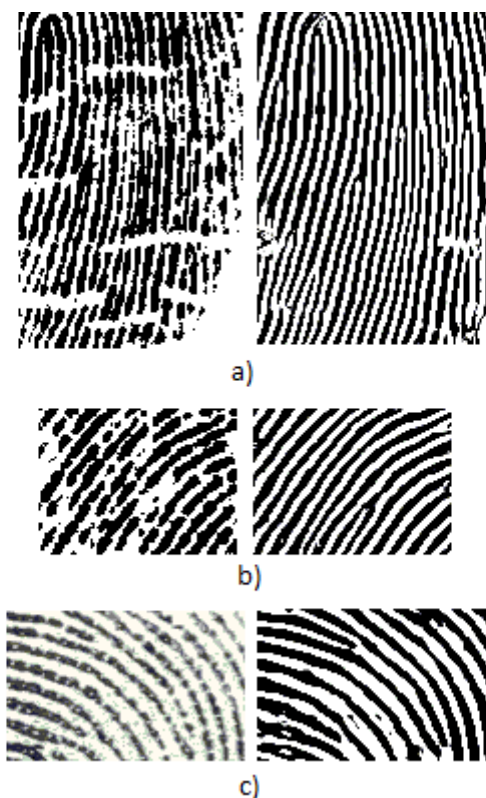
5.5 Přerušení papilárních linií, která úpravou byla odstraněna

V následující části textu budou znázorněny situace, při kterých došlo k odstranění přerušení papilárních linií otisku prstu.

Na obrázku 5.5.1. a) jsou ve vstupním obrázku papilární linie otisku prstu na několika místech přerušeny vráskami (vodorovné bílé oblasti). Vráska přerušuje několik sousedních papilárních linií ve stejném místě. Po úpravě navrženým algoritmem dojde ke spojení odpovídajících si papilárních linií.

Další případem jsou drobná přerušení papilárních linií na různých místech, jak je ukázáno na obrázku 5.5.1. b). Po úpravě navrženým algoritmem dojde k rekonstrukci těchto papilárních linií. Díky tomu jsou drobná přerušení odstraněna.

Papilární linie mohou být reprezentovány různými odstíny šedé, což jim dává značně nevýrazný vzhled. Jejich součástí mohou být také bílé tečky (póry). S oběma předchozími případy si navržený algoritmus dokázal poradit. Ukázka je na obrázku 5.5.1. c).



Obrázek 5.5.1: Odstraněná přerušení papilárních linií otisku prstu, která jsou upravena pomocí navrženého algoritmu. Vlevo je vždy vstupní a vpravo upravený obraz.

5.6 Přerušení papilárních linií, která úpravou nebyla odstraněna

Pomocí navrženého algoritmu došlo k odstranění velkého množství nedostatků a přerušení papilárních linií otisku prstu. Nyní budou ukázány a popsány situace, kdy navržený algoritmus nedokázal zrekonstruovat přerušené papilární linie.

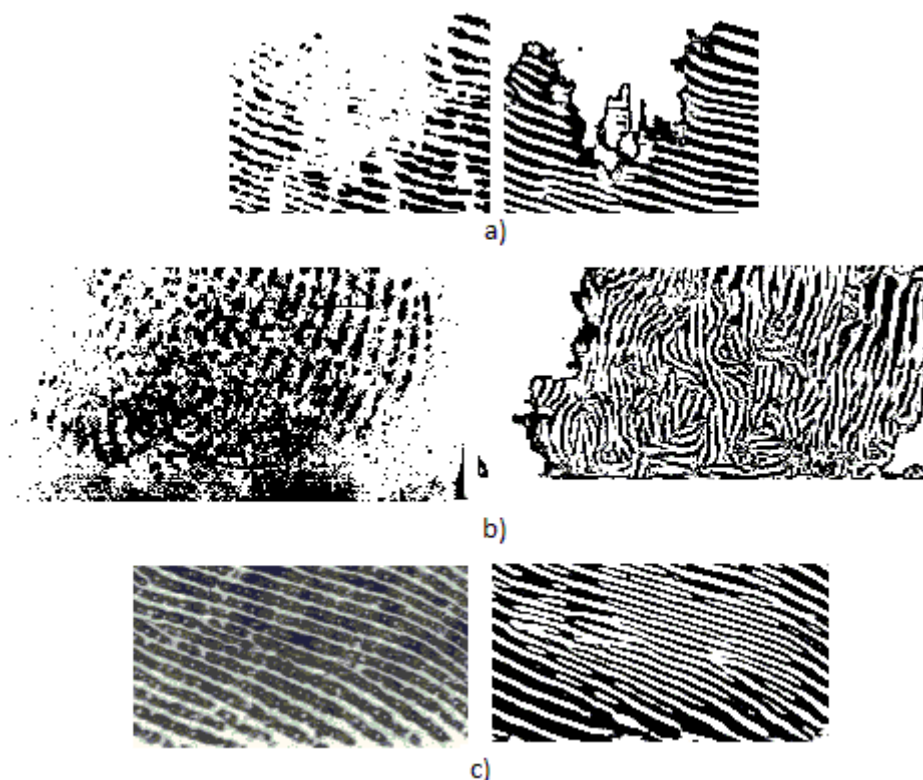
Část otisku prstu, kde jsou papilární linie přerušeny do takové míry, že jsou reprezentovány pouze několika černými tečkami a nejsou rozpoznatelné ani pouhým okem,

se po úpravě projeví jako ohraničená oblast bez papilárních linií. Taková oblast je ale menší než oblast v původním obrazu. Papilární linie v částech obrazu, kde jsou dostatečně rozpoznatelné, se úpravou o několik málo pixelů protáhnou do oblasti bez papilárních linií. Tato situace je znázorněna na obrázku 5.6.1. a).

V podstatě opačný případ než obrázek 5.6.1. a) je obrázek 5.6.1. b). Zde jsou papilární linie reprezentovány s velkým množstvím šumu, který brání správnému určení úhlu orientace a frekvence papilárních linií. Z toho vyplývá zásadní problém při úpravě pomocí Gaborova filtru. S nesprávně určeným úhlem orientace a frekvencí není možné rekonstruovat papilární linie tak, aby si udrželi původní strukturu a orientaci. Výsledkem je otisk prstu s nesmyslnými tvary papilárních linií.

Další situací, při které navržený algoritmus nedokázal správně zrekonstruovat papilární linie otisku prstu, je znázorněna na obrázku 5.6.1. c). Papilární linie jsou zde v těsné blízkosti vedle sebe, tzn. údolí (bílá oblast) mezi hřebeny má minimální šířku. Po úpravě dojde k rozdvojení papilárních linií v této části otisku prstu. To má za následek vytvoření makantů, které v původním otisku prstu nebyly.

Problému, který souvisí s implementací algoritmu, si lze povšimnout na obrázku 5.6.1. b) v dolní části. Nejlépe je ale vidět na obrázku 5.4.1. Výstupní otisk prstu je na okrajích mírně oříznut. Vyplývá to z toho, že se orientace a frekvence papilárních linií i Gaborův filtr počítají s pomocí okolních bodů, které tvoří blok o určité velikosti. Při výpočtu jsou využity jen ty bloky, které jsou celé. Ve chvíli, kdy by blok okolních bodů při výpočtu orientace nebo frekvence jednoho konkrétního bodu zasáhl mimo obraz, je tento bod ignorován a přechází se na výpočet v dalším bodě. Kvůli tomu jsou okrajové části výstupního obrazu prázdné.



Obrázek 5.6.1: Neodstraněná přerušení papilárních linií otisku prstu, která jsou upravena pomocí navrženého algoritmu. Vlevo je vždy vstupní a vpravo upravený obraz.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit aplikaci s grafickým uživatelským rozhraním pro úpravu papilárních otisku prstu, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu. Práce by šla rozdělit na dvě významné části. Jednak to byl návrh a implementace algoritmu pro úpravu papilárních linií, který byl postaven na Gaborově filtru. Druhou významnou částí bylo testování navrženého algoritmu a zjištění využitelnosti Gaborova filtru pro úpravu suchých otisků prstů.

Na základě testování navrženého algoritmu na databázi suchých otisků prstů jsem dospěl k názoru, že v této práci navržený algoritmus, který využívá Gaborův filtr, není obecně použitelný pro úpravu papilárních linií otisku prstu, které jsou přerušeny vlivem suchého otisku prstu. Přesto více než polovina testovaných otisků byla úpravou z velké části vylepšena. To znamená, že v upraveném otisku zůstala zachována struktura téměř všech papilárních linií a markantů a zároveň došlo k odstranění drobných přerušení papilárních linií, která se nacházela v původním suchém otisku prstu.

Nedostatky v úpravě přerušení papilárních linií nejčastěji souvisely s nepřesným výpočtem orientace papilárních linií v důsledku výrazného šumu, který znemožnil přesnější výpočet, nebo naopak případy, kdy byly papilární linie natolik nevýrazné, že nebylo téměř z čeho provést potřebné výpočty.

6.1 Budoucnost projektu

Navržený algoritmu nedokáže účinně odstranit přerušování papilárních linií otisku prstu v každé situaci. Největším problémem se jeví být výpočet orientace papilárních linií, který je nutný pro využití Gaborova filtru. V dalším vývoji projektu bych se proto zaměřil na zpřesnění tohoto výpočtu v situacích, kdy je otisk prstu znehodnocen velkým množstvím šumu.

Další oblastí, na kterou se lze zaměřit, je situace, kdy jsou papilární linie reprezentovány jen malým počtem tmavých pixelů. V tomto případě v současném stavu opět nedojde ke změně k lepšímu.

Literatura

- [1] Jain, A. K., Flynn, P., Ross, A.A.: Handbook of Biometrics. Springer, 2008, ISBN 978-0-387-71040-2
- [2] Z.L.D. s.r.o., Elektroluminiscenční snímače [online] [cit. 2011-05-11]. Dostupné z WWW: http://www.zld.cz/cinnost/vyvoj/biometrie/sni_el.php?p=2|6|8|26|
- [3] Jain, A. K., Prabhakar, S., Hong, L., Pankanti, S. FingerCode: A Filterbank for Fingerprint Representation and Matching [online]. 1999 [cit. 2011-04-15]. Dostupné z WWW: <http://www.cse.msu.edu/biometrics/Publications/Fingerprint/MSU-CPS-98-36.pdf>
- [4] Petrakis, E. G. M. Edge detection [online] [cit. 2011-04-02]. Dostupné z WWW: <http://www.intelligence.tuc.gr/~petrakis/courses/computervision/edgedetection.pdf>
- [5] WWW stránky. eFinger - A FingerPrint Matching System <http://sourceforge.net/projects/efinger/>
- [6] Thai, Raymond. Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction [online]. 2003 [cit. 2011-04-14]. Dostupné z WWW: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.121.9756&rep=rep1&type=pdf>
- [7] SMÉKAL, O. Biometrie otisku prstu: Bakalářská práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010, 42s., 2 příl. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Fedra.
- [8] C++ [online]. 2000, [cit. 2011-04-14]. Dostupné z WWW: <http://www.cplusplus.com/>
- [9] OpenCV [online]. 2006, Last change 2011-04-01 [cit. 2011-04-14]. Dostupné z WWW: <http://opencv.willowgarage.com/wiki/Welcome>
- [10] Qt [online]. 2008, Last change 2011-04-12 [cit. 2011-04-13]. Dostupné z WWW: <http://qt.nokia.com/>

Seznam obrázků

Obrázek 2.1.1: Klasifikace otisků prstu podle Jana Evangelisty Purkyně.

Obrázek 2.2.1: Řez kůží prstu.

Obrázek 2.3.1: Rozdělení otisků prstu do klasifikačních tříd.

Obrázek 2.3.2: Jádro (1) a delta (2) v otisku prstu.

Obrázek 2.4.1: Typy markantů.

Obrázek 2.5.1: Suché otisky prstů.

Obrázek 3.1.1: Normalizace obrazu.

Obrázek 3.2.1: Orientace papilárních linií.

Obrázek 3.2.2: Orientace papilárních linií.

Obrázek 3.3.1: Projekce intenzity hodnot pixelů na přímce kolmé k úhlu orientace.

Obrázek 3.4.1: Ukázka Gaborových filtrů pro vybrané úhly.

Obrázek 3.4.2: Papilární linie upravené pomocí Gaborova Filtru.

Obrázek 4.2.1: Výsledná aplikace.

Obrázek 5.3.1: Podíl jednotlivých částí navrženého algoritmu na celkovém čase v procentech.

Obrázek 5.3.2: Časová náročnost jednotlivých částí navrženého algoritmu.

Obrázek 5.4.1: Otisk prstu upravený pomocí navrženého algoritmu.

Obrázek 5.4.2: Otisk prstu upravený pomocí navrženého algoritmu.

Obrázek 5.4.3: Úspěšnost úpravy papilárních linií.

Obrázek 5.5.1: Přerušení papilárních linií otisku prstu, která jsou upravena pomocí navrženého algoritmu.

Obrázek 5.6.1: Neodstraněná přerušení papilárních linií otisku prstu, která jsou upravena pomocí navrženého algoritmu.

Seznam příloh

Příloha 1: CD se zdrojovými kódy a technickou zprávou v elektronické podobě